

# ANALISIS GELOMBANG AKUSTIK TERHADAP PENGARUH TEKANAN CASING DAN GAS HETEROGEN UNTUK MENENTUKAN KEDALAMAN LIQUID LEVEL SUMUR MINYAK MENGGUNAKAN DATA SONOLOG

Suhardi\*, Usman Malik, Riad Syech

Program Studi S1 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Riau Kampus Bina Widya Pekanbaru, 28293, Indonesia

\*Suhardi\_fis07@yahoo.co.id

## ABSTRACT

A research has been done in analyzing an acoustic wave and its effect to casing pressure and gas flow at annulus in order to determine liquid level depth of oil well. The research used an experiment method using sonolog type remote fire gas gun with its sound wave frequency between 30 Hz – 60 Hz. Data were taken from three oil wells that are managed by the Unit of business Pertamina EP Lirik. Each well was measured five times at different time. The data obtained were analyzed by Total Well Management (TWM) software. They were acoustic velocity, casing pressure, and gas flow. The value of acoustic velocity shown by TWM sometimes didn't match to the real condition including the data of determined liquid level depth. New value of acoustic velocity had been gotten using multiple regression linear equation. Time travel of wave was measured using Down Hole Marker at TWM. Result of calculation of acoustic velocity based on measured data for well LS-031 at November 24<sup>th</sup> 2011 was 397,7138 m/s, for well LS-105 measured at March 13<sup>th</sup> 2010 was 359,6792 m/s, for well LS-105 measured at November 25<sup>th</sup> was 356,17 m/s. Results of calculation of liquid level depth for well LS-031 was 249,9634 m, for well LS-105 was 261,23 m, and for well LS-097 was 246,96 m

Keywords: *Sonolog, Acoustic Velocity, Casing Pressure and Liquid Level.*

## ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisis gelombang akustik dan pengaruhnya terhadap tekanan *casing* dan gas alir pada *annulus* untuk menentukan kedalaman *liquid level* sumur minyak. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memakai peralatan sonolog tipe *remote fire gas gun* dengan frekuensi gelombang bunyi sebesar 30 Hz - 60 Hz. Pengambilan data dilakukan di tiga sumur minyak yang dikelola oleh Unit Bisnis Pertamina EP Lirik. Pada tiap sumur dilakukan pengukuran sebanyak lima kali pada waktu yang berbeda. Data yang telah diambil kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Total Well Management (TWM). Data yang didapat dari pengukuran yaitu kecepatan akustik, tekanan *casing* dan gas alir. Nilai kecepatan akustik yang terbaca pada software TWM terkadang tidak sesuai dengan keadaan di lapangan begitu juga nilai kedalaman *liquid level*. Nilai kecepatan akustik yang baru didapat dengan menggunakan persamaan regresi linear berganda. Waktu tempuh gelombang diukur menggunakan metode *Down Hole Marker* pada perangkat lunak (TWM). Hasil perhitungan kecepatan akustik, berdasarkan data pengukuran untuk sumur LS-031 pada

24 November 2011 yaitu 397,7183 m/s, untuk sumur LS-105 yang diukur pada 13 Maret 2010 yaitu 359,6792 m/s dan untuk sumur LS-097 yang diukur pada 25 November 2011 yaitu 356,17 m/s. Hasil perhitungan kedalaman *liquid level* untuk sumur LS-031 yaitu 249.9634 m, untuk sumur LS-105 kedalaman *liquid level*-nya adalah 261,23 m dan untuk sumur LS-097 kedalaman *liquid level*-nya adalah 246,96 m.

Kata Kunci: *Sonolog, Kecepatan Akustik, Casing Pressure dan Liquid Level.*

## PENDAHULUAN

Minyak dan Gas Bumi merupakan salah satu kebutuhan vital yang harus dipenuhi oleh setiap Negara. Indonesia merupakan negara penghasil minyak dan gas bumi namun belum mampu memenuhi kebutuhan minyak nasional, sehingga pemerintah harus mengimpor untuk mencukupi kebutuhan bahan bakar minyak, seperti pada tahun 2010 impor minyak mencapai 64 ribu kilo liter perharinya (Kemen. ESDM, 2011).

Minyak dan Gas bumi di Indonesia dikelola oleh beberapa perusahaan, salah satunya adalah PT. Pertamina (Persero) yang memiliki anak perusahaan diantaranya adalah Unit Bisnis Pertamina EP. Unit Bisnis Pertamina EP bergerak di sektor hulu migas dan mempunyai beberapa unit wilayah kerja, salah satunya adalah lapangan Lirik yang terletak di Kecamatan Lirik Kabupaten Indragiri Hulu Provinsi Riau. Unit Bisnis Pertamina EP Field Lirik memiliki beberapa sumur dengan jumlah sumur 107 buah, 53 diantaranya sampai saat ini masih memproduksi aktif dalam pengambilan minyak (Priyandoyo, 2007).

Sumur produksi adalah sumur yang masih beroperasi dalam pengambilan minyak. Minyak yang ada di dalam sumur di sedot menggunakan pompa, kemudian minyak dialirkan menggunakan pipa ke tempat

penampungan. Pengambilan minyak yang dilakukan secara terus menerus dapat mengurangi jumlah minyak di dalam sumur, sehingga perlu dilakukan peninjauan ketinggian minyak di dalam sumur dengan menggunakan peralatan sonolog.

Peralatan sonolog merupakan peralatan yang menggunakan sistem gelombang akustik untuk mengukur kedalaman minyak di dalam sumur (Guntur, 2011). Pengukuran menggunakan sonolog bertujuan salah satunya untuk mengetahui ketinggian minyak di dalam sumur. Hal ini dilakukan agar pompa penghisap dapat disesuaikan dengan ketinggian minyak di dalam sumur, sehingga penghisapan minyak dari dalam sumur dapat dilakukan secara optimal.

Sonolog adalah suatu sistem yang digunakan pada sumur-sumur minyak untuk mengetahui ketinggian fluida (Fluid Level) dengan peralatan akustik menggunakan bantuan peralatan tipe penghasil gelombang suara/acoustic pulse generator. Ekspansi gas dari volume chamber/tabung ke sumur menghasilkan denyut gelombang akustik (Akhmad, 2009). CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> yang telah dimampatkan dan terdapat di volume chamber memberi beban tekanan lebih besar dari pada tekanan sumur. Katup yang terpasang pada wellhead dibuka dengan cepat baik secara manual atau elektrik, dan

menghasilkan gelombang tekanan pada *casing annulus*. Perjalanan gelombang suara melalui gas pada *casing annulus* dan perubahan cross sectional sebagai refleksi dari tubing collar, tubing anchor, *casing* perforasi dan lain-lain. Sisa energi gelombang kemudian direfleksikan oleh permukaan liquid pada ke dalaman liquid level. Pantulan gelombang yang kembali ke permukaan sumur di deteksi oleh mikrofon dan terbaca oleh grafik chart khusus pada peralatan digital yang langsung terlihat di layar laptop (Akhmad, 2009).

Jenis-jenis alat yang umum yang digunakan dalam pengerjaan sonolog : Product Keystone – Manual, product Echometer – Type M (Manual), Digital Well Analyzer – Echometer (Digital dengan Software khusus TWM dengan perangkat Amplifier + Laptop )

Alat sonolog yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis Digital Well Analyzer produk Echometer dengan tipe Remote Fire Gas Gun dengan tekanan maksimum sebesar  $1,034 \times 10^4$  kpa, yang dapat menembakan pulsa akustik secara otomatis.

Gelombang akustik yang digunakan pada sonolog adalah jenis gelombang pressure atau yang sering disebut sebagai gelombang longitudinal karena biasanya medium yang digunakan untuk membawa sinyal akustik tersebut adalah gas, yang lebih khususnya yang biasa digunakan adalah gas nitrogen ( $N_2$ ) atau gas karbon dioksida ( $CO_2$ ).

Frekuensi yang dihasilkan dari gelombang pressure yang digunakan pada sonolog yaitu antara 30-60 Hz, dan amplitudo gelombang tersebut bergantung terhadap besarnya tekanan pada volume chamber yang ada pada

sonolog, dan besarnya tekanan tersebut dapat dilihat pada pressure gauge.

Banyak faktor yang mempengaruhi kecepatan gelombang akustik, salah satunya adalah tekanan *casing* dan gas flow pada *annulus*. Pada pengukuran liquid level untuk sumur yang memiliki tekanan lebih dari  $6,89 \times 10^3$  kpa tidak direkomendasikan menggunakan Echometer tipe remote auto fire gas gun, karena pada umumnya akan menyebabkan kesalahan pembacaan liquid level, hal ini disebabkan pada pengukuran liquid level umumnya pembacaan kecepatan akustik harus dalam metode otomatis, namun bila pada sensor tekanan yang ada pada sonolog menunjukkan adanya gas pada sumur, maka pembacaan dengan metode analisis otomatis sangat sulit diterapkan. Umumnya data pada sonolog akan meminta untuk diinputkan besarnya kecepatan akustik secara manual, dan bila tidak dapat menginputkan nilai kecepatan akustik secara manual maka sonolog yang berbasis pada penggunaan perangkat lunak TWM akan menginputkan nilai kecepatan akustik secara default, yang biasanya besarnya adalah 350,52 m/s, yang tentunya nilai ini bukan merupakan nilai standar kecepatan akustik dari tiap-tiap sumur yang telah diukur, sehingga kemungkinan pembacaan dari kedalaman dari liquid level akan salah.

Total Well Management merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisa data yang didapat dari pengukuran menggunakan sonolog. Analisa data sonolog untuk menentukan kecepatan akustik dengan menggunakan analisa perangkat lunak TWM (Total Well Management) dapat dibagi menjadi empat metode, diantaranya adalah, metode analisis

kecepatan akustik, manual, otomatis, dan down hole marker. Metode analisis kecepatan akustik, pada metode ini kecepatan akustik diminta diinput secara manual. Model penginputan manual didasarkan oleh tiga hal yaitu dengan menggunakan kecepatan akustik berdasarkan keadaan komposisi gas, specific gravity gas, dan berdasarkan kecepatan akustik yang telah diketahui dengan mengukur parameter lain seperti tekanan pada *casing* sumur. Analisis data ini membahas mengenai kecepatan akustik yang dianalisis secara manual dengan beberapa parameter yang telah terukur menggunakan sonolog, karena pada dasarnya kecepatan akustik pada tiap-tiap sumur minyak mempunyai karakteristik yang berbeda, yang mana semua perbedaan tersebut dapat dianalisis berdasarkan pengukuran data sonolog dari waktu ke waktu, dan penelitian ini akan ditekankan pada analisis data kecepatan akustik yang dihubungkan dengan besarnya perubahan tekanan akustik dan besarnya aliran gas (gas flow) yang mengalir pada *annulus casing* dengan tubing.

Metode pengukuran secara manual mirip dengan metode analisis secara otomatis. Bedanya hanya pada setingan joint tubing-nya. Dimana pada metode ini ditentukan dengan meletakkan hasil pengukuran gelombang pantul dari collar. Metode ini dianggap akurat bila letak pola pantulan dari collar terdapat pada grafik gelombang yang terekam pada perangkat lunak TWM (Total Well Management).

Metode pengukuran otomatis bekerja berdasarkan prinsip penentuan gelombang pantul dari collar yang pertama. Pada pengukuran ini yang paling penting adalah panjang joint tubing rata-rata dan waktu tempuh

gelombang pantul dari collar untuk menentukan kecepatan akustik pada sumur yang diukur.

Analisis metode down hole marker, analisis ini bertujuan untuk menentukan dimana letak rata-rata kemungkinan jumlah joint yang terpasang sampai ke permukaan cairan. Hal ini merupakan model analisis terbalik, karena ditentukan terlebih dahulu jumlah joint sampai permukaan dasar sumur untuk menentukan besarnya kecepatan akustik. Metode *down hole marker* yang ada pada perangkat lunak TWM.

Tekanan pada *casing* sumur dapat diukur menggunakan sonolog, terutama perubahan tekanannya, karena pada sonolog sudah terpasang manometer yang mampu memantau perubahan tekanan. Ini dapat dijadikan indikator adanya gas di dalam sumur, dan biasanya pada box gas flow pada perangkat lunak TWM akan menunjukkan nilai tertentu, dan tekanan pada *casing* mengalami penurunan maka dapat dikatakan sumur tersebut tidak mengandung gas.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen. Pengambilan data berdasarkan pengukuran di sumur minyak menggunakan peralatan sonolog.

Observasi sumur langsung dilaksanakan selama peninjauan sumur-sumur produksi yang akan diukur *liquid level*-nya dan analisis data yang didapat dari pengukuran menggunakan sonolog seperti tekanan pada *Anulus* yang dianggap sebagai Tekanan *casing* dan waktu indikator yang merupakan lama waktu tempuh gelombang menjalar dari

permukaan *liquid level* ke sensor Mikrofon pada sonolog.

Instalasi sensor sonolog merupakan proses pemasangan peralatan yang digunakan untuk mengukur data yang dianggap penting untuk keperluan analisis sumur produksi seperti *liquid level*, *pressure transient*, BHP dan lain sebagainya.

Penginputan gas nitrogen ke *volume chamber* yang ada pada sonolog dilakukan untuk menciptakan tekanan gas pada sonolog lebih besar daripada tekanan yang ada pada *annulus*, karena bila sinyal akustik yang dihasilkan dari sonolog lebih kecil dari tekanan yang ada pada *annulus* maka sensor tekanan yang ada pada sonolog akan mencegah gas keluar dari *volume chamber* saat dilakukan penembakan pulsa akustik, karena pada umumnya penembakan pulsa gelombang akustik menggunakan metode eksplosif membutuhkan penginputan gas dari luar baik gas nitrogen maupun gas CO<sub>2</sub>, selain itu bila besarnya tekanan gas pada *volume chamber* memiliki selisih yang kecil dengan besarnya tekanan yang ada pada *annulus* maka sebagian besar pulsa gelombang akustik akan terpantulkan sebelum mencapai *liquid level*, hal ini yang biasanya menyebabkan kesalahan pembacaan *liquid level* yang akan dideteksi oleh sonolog. Untuk keperluan keamanan pada sonolog ditambahkan *valve bleed* yang berfungsi untuk mencegah gas nitrogen langsung keluar dari *volume chamber* bila terjadi penginputan gas nitrogen secara berlebihan, yang dapat menyebabkan kerusakan pada sensor tekanan.

Sonolog yang telah terpasang di *wellhead*, mengakibatkan sambungan lubang *annulus* dengan sonolog memiliki tekanan yang berbeda dengan besarnya tekanan *annulus* pada *tubing*.

Oleh karena itu dibutuhkan waktu penyesuaian tekanan antara sonolog dengan *annulus* pada *tubing*, waktu yang dibutuhkan tersebut disebut kalibrasi *Zero offset pressure transducer*, hal ini diperlukan agar saat sonolog melepaskan pulsa atau implus akustik menggunakan gas nitrogen tidak terkonsentrasi pada sambungan antara sonolog dengan lubang *annulus* yang ada pada *wellhead*. Karena bila ledakan terkonsentrasi pada daerah tersebut maka sinyal akustik sulit mencapai permukaan fluida yang ada pada bagian bawah sumur, meskipun tekanan gas nitrogen yang digunakan sangatlah besar.

Pengaktifan *software total well management* dilakukan untuk mengendalikan sonolog secara otomatis. *Software* ini juga nantinya digunakan untuk menganalisis sinyal gelombang akustik dan sinyal dari sensor tekanan, kemudian dari analisis sinyal-sinyal tersebut hasil pengukuran seperti *liquid level*, *pressure transients*, BHP dan lain sebagainya akan didapatkan.

Penyimpanan data untuk sumur baru yang belum pernah diambil datanya, maka pada *software TWM* dapat menggunakan tombol *acquire mode*, dengan menekan tombol *acquire mode* maka disana akan diminta beberapa data yang perlu diinputkan, seperti nama sumur, jenis pompa yang digunakan, kedalaman *pump intake*, kedalaman *depth formation* dan lainnya yang dianggap perlu untuk proses pengukuran sumur minyak dengan menggunakan sonolog.

Penembakan pulsa akustik dilakukan untuk menghasilkan sinyal gelombang yang berasal dari ledakan gas nitrogen bertekanan tinggi yang termampatkan di *volume chamber*, dan hasil ledakan gas nitrogen menghasilkan

aliran akustik dari sonolog menuju ke permukaan cairan (*liquid level*) yang ada di dalam sumur.

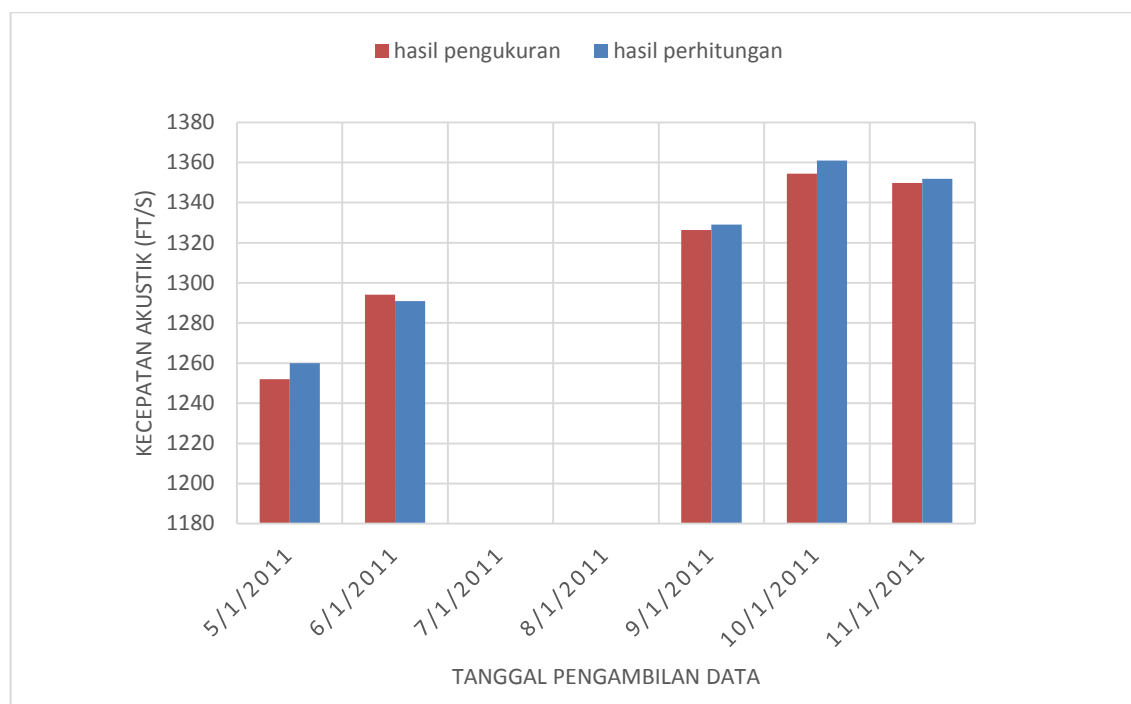
Hasil dari pengukuran sonolog dapat dibagi dua jenis, yaitu data hasil pengukuran dengan sensor, dan data hasil pengukuran menggunakan persamaan. Data hasil pengukuran menggunakan sensor pada sonolog ada dua, yaitu hasil pengukuran sensor akustik (mikrofon) dan data hasil pengukuran sensor perubahan tekanan (manometer). Data hasil pengukuran dari sensor akustik mula-mula di tampilkan dalam tampilan grafik gelombang, kemudian dari hasil tampilan gelombang tersebut dapat dianalisis untuk menentukan dimana letak dari *liquid level*.

Data hasil pengukuran berdasarkan persamaan didapatkan

karena kombinasi antara data yang diinput secara manual dan data yang didapatkan dari pengukuran, data - data yang didapatkan berdasarkan persamaan, yaitu *pruduction bottom hole pressure*, *static bottom hole pressure*, *gas gravity*, *producing potential*, tekanan *casing buildup*, *liquid level*, *pump intake* dan *gas flow*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran secara langsung kecepatan akustik (*acoustic velocity*) yang didapatkan dari pengukuran *liquid level* menggunakan sonolog dengan hasil perhitungan menggunakan persamaan regresi linear berganda untuk sumur LS-031. Ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik kecepatan akustik hasil pengukuran dengan hasil perhitungan untuk sumur LS-031



Persamaan regresi linear berganda memberikan pola perubahan kecepatan akustik dari waktu ke waktu dengan asumsi nilai tekanan dan gas alir pada *annulus*. Persamaan regresi linear berganda secara khusus dapat diaplikasikan untuk menyelesaikan beberapa kasus yang terjadi pada sumur LS-031 milik Pertamina EP, yang salah satunya terjadi pada pengukuran *fluid level* menggunakan sonolog dengan tipe *remote auto fire gas gun* pada tanggal 24 November 2011, dimana dari hasil pengukuran didapat data-data seperti Tekanan *casing* ( $P_c$ )  $100.1 \text{ kN/m}^2$ , waktu indikator ( $t$ ) 2,532 detik, *Gas flow* ( $Q$ )  $0 \text{ m}^3/\text{s}$ , *pump intake depth* 419.7096 m, *formation depth* ( $D$ ) 524.8656 m, *liquid level depth* ( $L_q$ ) 523.0856 m, *Pump intake pressure*  $103.2 \text{ kN/m}^2$ , *production bottom hole pressure*  $122.2 \text{ kN/m}^2$ , *resevoir pressure*  $2868.2 \text{ kN/m}^2$ , *acoustic velocity* ( $v$ )  $350.52 \text{ m/s}$ , dan *production efeciency* 99,0 %.

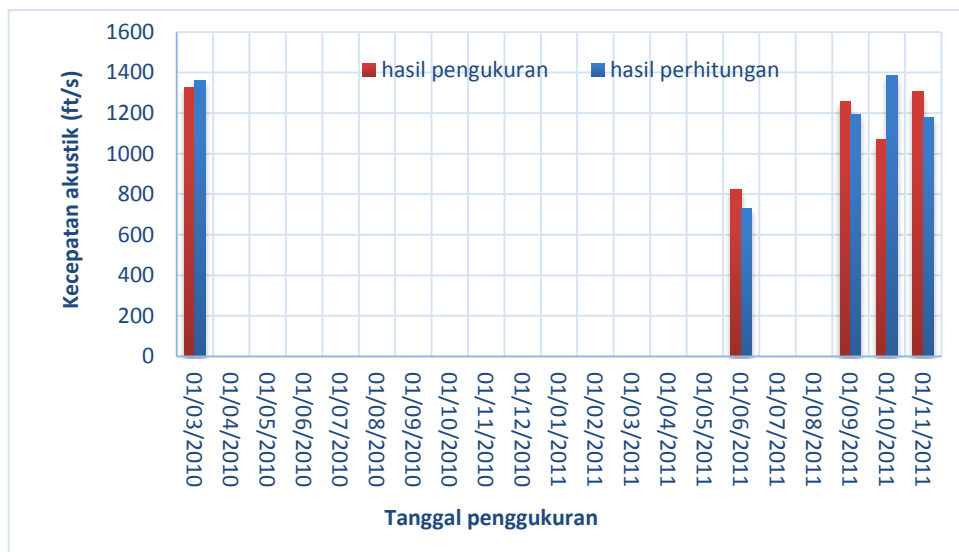
Data di atas menunjukkan bahwa sumur LS-031 milik Pertamina EP masih melakukan produksi minyak, hal itu dapat diketahui dengan adanya nilai dari *pump intake pressure* dan produksi *bottom hole pressure*, dimana nilai-nilai tersebut merupakan indikator bahwa pompa masih melakukan *lifting* terhadap fluida, terlebih lagi *production efeciency* yang menunjukkan angka 99 %, yang artinya pompa masih bekerja dengan baik, namun jika ditinjau dari ketinggian *liquid level depth* yang besarnya 523.0856 m, merupakan hal mustahil suatu pompa dapat

memproduksi fluida, bila kedalaman pompa (*pump intake depth*) lebih rendah jika dibandingkan dengan kedalaman fluida yang akan diangkat, dimana saat itu kedalaman dari *pump intake depth* pada kedalaman 419.7096 m, hal ini menunjukkan antara *pump intake* dengan *liquid level* memiliki ruang kosong dengan jarak 103.376 m, walaupun pada saat itu keadaan produksi pompa dalam keadaan normal.

Kesalahan dalam penentuan kedalaman dari *liquid level depth* dapat terjadi pada analisis amplitude gelombang yang berasal dari refleksi dari permukaan fluida yang ada di dalam sumur yang terekam oleh sonolog lebih dari satu kali, karena analisis pada perangkat lunak yang digunakan dalam pengukuran menggunakan sonolog (TWM) selalu menganalisis sinyal akustik yang kemungkinan juga terdapat sinyal akustik dari pantulan *collar*.

Kesalahan pengukuran yang terjadi pada kasus sumur LS-031 dapat diatasi dengan menggunakan persamaan regresi linear berganda sebagai acuan untuk menentukan besarnya kecepatan akustik, sedangkan untuk menentukan waktu tempuh gelombangnya dapat digunakan analisis metode *down hole marker* yang ada pada perangkat lunak TWM.

Kecepatan akustik hasil perhitungan dari persamaan persamaan regresi linear berganda sebesar  $1304.85 \text{ ft/s}$  atau setara dengan  $397.7183 \text{ m/s}$ , sedangkan untuk menentukan kedalaman dari *liquid level* didapat



Gambar 2. Grafik kecepatan akustik hasil pengukuran dan hasil perhitungan untuk sumur LS-105

menggunakan perhitungan, yang mana besarnya waktu indikator didapat dari metode *down Hole Marker* yang besarnya adalah 1,257 sekon. Kedalaman *liquid* berdasarkan perhitungan adalah 820,09 ft atau sama dengan 249.9634 m.

Grafik perubahan kecepatan akustik terhadap tangga pengukuran *liquid level* menggunakan Sonolog dengan grafik perubahan kecepatan akustik hasil perhitungan pada sumur LS-105 dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan pola grafik hasil pengukuran dengan pola hasil perhitungan hampir bersesuaian, ketidakcocokan pada grafik tersebut terlihat pada titik pengamatan ke empat.

Hal ini dapat terjadi ketidaksesuaian antara data yang terukur dengan data hasil perhitungan yang disebabkan persamaan regresi linear berganda akan selalu menunjukkan pola umum pada data hasil pengukuran, sedangkan pola resesif tidak

ditampilkan, karena persamaan ini tingkat akurasinya bergantung terhadap jumlah data yang digunakan sebagai acuan.

Untuk membuat persamaan pendekatan yang baru untuk kecepatan akustik, yang dianggap lebih efisien digunakan untuk menentukan kecepatan akustik dengan menggunakan perhitungan cepat, dan dapat memanfaatkan data yang ada pada saat pengukuran *liquid level* dilakukan.

Untuk melihat seberapa besar hasil koreksi dari hasil perhitungan kecepatan akustik yang didapatkan berdasarkan persamaan regresi linear berganda untuk sumur LS-105, maka dapat digunakan data hasil pengukuran *fluid level* yang menggunakan sonolog pada tanggal 13 Maret 2010, dimana data-data yang didapatkan adalah Tekanan *casing* ( $P_c$ ) 100,5 kN/m, Gas flow ( $Q$ ) 0 m<sup>3</sup>/s, *Pump intake depth* 405,08 m, *Formation depth* ( $D$ ) 452,63 m, *Liquid level depth* ( $L_q$ ) 349.7245 m,

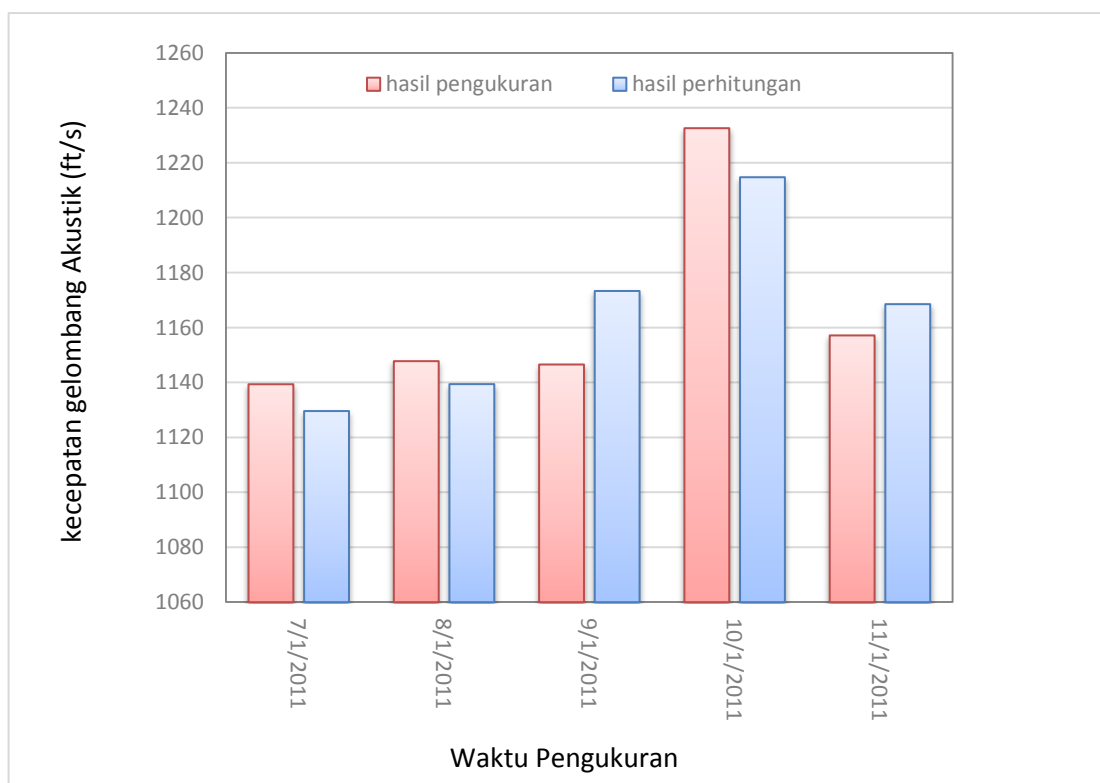


*Production bottom hole pressure* 1028,2 kN/m<sup>2</sup>, *Acoustic velocity (v)* 229,8561 m/s, *Production efeciency* 86,0 %, dan *Joint counted* 9 of 37,61. Data dari sumur LS-105 yang diukur tanggal 13 maret 2010 layak untuk koreksi ulang karena jumlah joint yang terukur hanya 9 dari 37 joint yang kemungkinan tidak terendam oleh fluida, atau jumlah joint yang terukur sebanyak 24, 3 %, padahal refrensi data di atas hampir dapat dikatakan akurat bila jumlah joint yang terukur hampir mendekati 80 % dari jumlah joint yang seharusnya terukur. Penentuan waktu indikator menggunakan metode analisis *down hole marker* pada pengukuran *liquid*

*level* di sumur LS-105 didapatkan waktu indikatornya sebesar 1,452 sekon, sehingga didapatkan nilai *liquid level* yang baru sebesar 261,2258 m.

Berdasarkan persamaan regresi linear berganda untuk sumur LS-097, dapat dilihat bagaimana hubungan antara data hasil perhitungan dengan data hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Variabel kecepatan akustik, tekanan *casing*, dan *gas flow* pada *annulus* dapat diinteraksikan dengan menggunakan metode yang sama seperti yang digunakan pada metode analisis pada sumur LS-031 dan sumur LS-105.



Gambar 3. Grafik kecepatan akustik hasil pengukuran dan hasil perhitungan untuk sumur LS-097

Pada Gambar 3 tampak pola dari grafik data hasil pengukuran yang secara umum sesuai dengan pola grafik data hasil perhitungan, namun secara spesifik data hasil perhitungan tidak dapat memprediksi seluruh data dari hasil pengukuran. Keadaan ini dapat disebabkan data yang digunakan sebagai acuan untuk data analisis memiliki variasi yang fluktuatif khususnya untuk nilai *gas flow* pada *annulus*, yang setiap pengukuran memiliki range data yang jauh, sehingga pendekatan dengan menggunakan persamaan regresi linear berganda yang menginteraksikan antara data kecepatan akustik, tekanan *casing*, dan *gas flow* pada *annulus* tidak begitu akurat.

## KESIMPULAN

Cepat rambat gelombang akustik di dalam sumur minyak dapat berubah yang disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah perubahan dari tekanan *casing* dan *gas flow* pada *annulus*.

Kecepatan akustik pada sumur LS-031, LS-105 dan LS-097 dapat dikoreksi dengan menggunakan persamaan regresi linear berganda yang sesuai dengan karakteristik sumur.

Waktu tempuh gelombang dapat ditentukan dengan metode *Down Hole Marker* pada perangkat lunak Total Well Management (TWM).

Kedalaman liquid level ditentukan berdasarkan data kecepatan gelombang hasil perhitungan dengan persamaan regresi linear dan waktu tempuh berdasarkan hasil analisis dengan metode down hole marker.

Untuk penelitian yang lebih lanjut mengenai menentukan kecepatan akustik pada pengukuran *liquid level* menggunakan analisis dapat dilakukan

dengan menggunakan empat variabels dan menggunakan data acuan yang lebih banyak, sehingga data hasil analisis dapat dibuat menjadi lebih akurat dan efektif.

## DAFTAR PUSTAKA

Guntur, R. J. 2011. Re-optimasi Pompa *Sucker Rod* Berdasarkan Analisa Sonolog pada Sumur X lapangan Y. Universitas Pembangunan Nasional “ Veteran”. Yogyakarta. <http://www.scribd.com/doc/126390869/SKRIPSI-113090157>

Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2011. Indonesia Energy Statistic Leflet. <http://www.esdm.go.id>

Priyandoyo, Upaya Peningkatan Produksi Minyak di sumur Produksi Paraffinik Unit Bisnis EP Lirik – Riau menggunakan inovasi solvents dan surfactants, 2007, Yogyakarta

Fakhriani, A. 2009. Pengenalan Sonolog, Dynagraph. <http://fachriborneo.wordpress.com/2009/12/13/apa-itu-sonolog/>